

ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЖЕКЦИОННЫХ ГОРЕЛОК В ГОРНАХ ОБЖИГОВЫХ МАШИН С ПРЯМЫМ ПЕРЕТОКОМ ВТОРИЧНОГО ВОЗДУХА

А.А. Винтовкин¹, В.В. Деньгуб¹, В.А. Хохлов¹, А.В. Чистополов¹,
В.И. Клейн², А.А. Кутузов², А.В. Стародумов², В.Н. Леушин³, О.Е. Семенов³

¹ОАО «Научно-исследовательский институт металлургической
теплотехники» (ОАО «ВНИИМТ») (г. Екатеринбург, Россия)

²ООО «НПВП «ТОРЭКС» (г. Екатеринбург, Россия)

³ОАО «Ванадий» (г. Качканар, Россия)

Приведены результаты реконструкции системы отопления горна обжиговой машины с прямым перетоком воздуха из зоны охлаждения окатышей в зону обжига. Описана конструкция горелок и опыт ее работы и испытания.

Ключевые слова: горн, горелка, воздух первичный и вторичный, эжектор, температура, факел, обжиг, топливо.

The results of the reconstruction of the heating system hearth roasting machine with direct airflow from the cooling zone of pellets to the burning zone. The design of the burner and the experience of her work and tests.

Keywords: mountain, burner, air primary and secondary, the ejector, the temperature, the torch burning, the fuel.

Обжиговые машины ОК-228 Качканарского ГОКа отличаются от отечественных и зарубежных аналогов наличием прямого перетока высокотемпературного воздуха из зоны охлаждения, выносного охладителя, нагретый воздух из которого сбрасывается в атмосферу, и подачей на горелки рециркулируемого воздуха из зон обжига и рекуперации с содержанием кислорода 16–18 % (горячее дутье). Со сбросными газами после охладителя теряется до 16 Гкал/ч тепла, что эквивалентно ~1880 м³/ч природного газа или почти 10 м³/т.об.ок. Примерно на эту величину удельный расход газа на машинах ОК-228 больше, чем на машинах других ГОКов. Пониженный кислородный потенциал горячего дутья обусловил и повышенное содержание закиси железа в обожженных окатышах, которое не опускается ниже 2,0–2,5 % [1].

В отличие от традиционной схемы сжигания топлива, когда в горелках происходит смешение газа и воздуха с последующим горением газозвушной смеси в форкамерах, на обжиговых машинах ОК-228, горение газа и окончательное формирование температуры теплоносителя происходит в горне под воздействием прямого перетока из зоны охлаждения (рис. 1).

Эффективность работы горна определяется соотношением расходов низкотемпературного теплоносителя (горячего дутья V_r) и высокотемпературного перетока из зон охлаждения V_n . Чем выше отношение V_n/V_r , тем, в конечном счете, ниже удельный расход природного газа. Но снижение расхода горячего дутья привело и к снижению коэффициента расхода воздуха, подаваемого в горелки. Проведенные испытания показали, что эксплуатация горелок с $\alpha < 1,0$

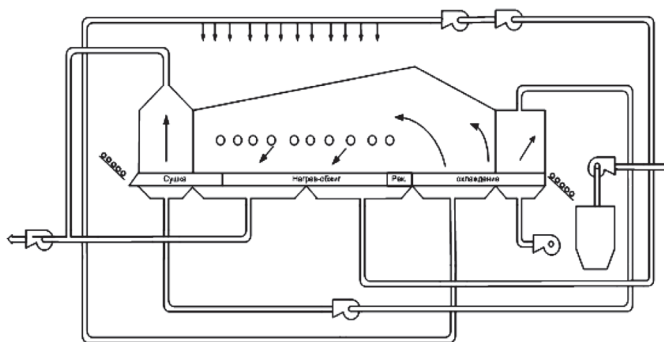


Рис. 1. Тепловая схема обжиговой машины ОК-228

ведет к разогреванию форкамеры и ее зашлаковыванию, а также к неравномерности температурного поля в горне. Этот негатив связан, в первую очередь, с отходом режима эксплуатации от исходного требования – работать с $\alpha > 1,0$. Тем не менее большое количество высокотемпературного теплоносителя с достаточно большим содержанием кислорода (не менее 17 %) позволяет эксплуатировать горелки при α не ниже 0,60. Тем самым был установлен минимальный предел удельного расхода природного газа на уровне $q_r = 20\text{--}22 \text{ м}^3/\text{т}$. Для последующего снижения V_r (и снижения α) необходимо было заменить двухпроводные горелки на эжекционные. Сложность решения заключалась в наличии сносящего перетока в горне и отсутствии экспериментальных данных о характере влияния этого перетока на развитие процесса горения. Поэтому было решено первоначально испытать две встречно установленные горелки непосредственно в горне обжиговой машины в условиях максимального количества перетока (в конце зоны обжига на 13 камере).

Общий вид горелок показан на рис. 2.

Техническая характеристика горелки: расход газа – $700 \text{ м}^3/\text{ч}$, давление газа – 30 кПа, давление первичного воздуха – 5 кПа.

Горелки были выполнены с двумя соплами, установленными на разных высотах на одной горелочной плите и направленными под различными углами к оси горна; по потоку движения переточного воздуха и против потока. Это было вызвано опасением формирования чрезмерно длинного факела, который может ударяться в противоположную стенку горна.

В процессе технологических испытаний на обжиговой машине № 1 производили замеры температурного поля на поверхности слоя, определяли состав газовой фазы на колосниках и состав горячего дутья. Основным требованием к температурно-временному режиму обжига было соответствие качества обожженного продукта заданным техническим условиям.

Горение газа начинается в горелочном камне (рис. 3), причем с уменьшением нагрузки зона воспламенения приближается к соплу. На оси факела при встрече с потоком переточного воздуха температура достигает 1600°C , но затем она интенсивно снижается до $1200\text{--}1300^\circ\text{C}$. Факел отличается жесткостью, что позволяет получить более равномерное температурное поле по ширине тележек. Тем не менее, колебания температур между периферией (400 мм от правого борта) и центром паллеты (200 мм от правого борта) составляют $40\text{--}50^\circ\text{C}$ (в отдельных случаях до 100°C).

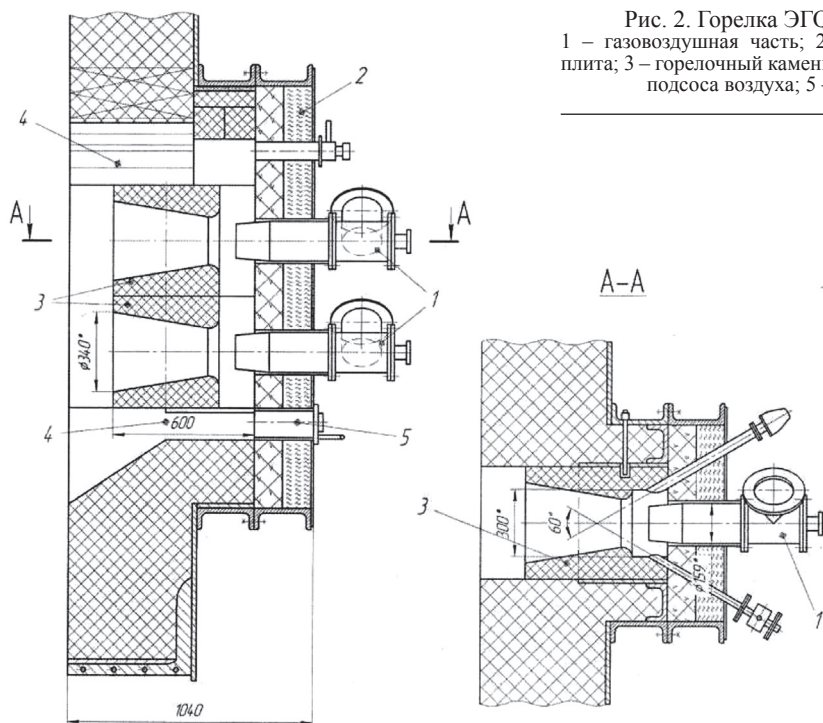


Рис. 2. Горелка ЭГОМ-7/2:
1 – газоздушная часть; 2 – горелочная
плита; 3 – горелочный камень; 4 – канал для
подсоса воздуха; 5 – люк

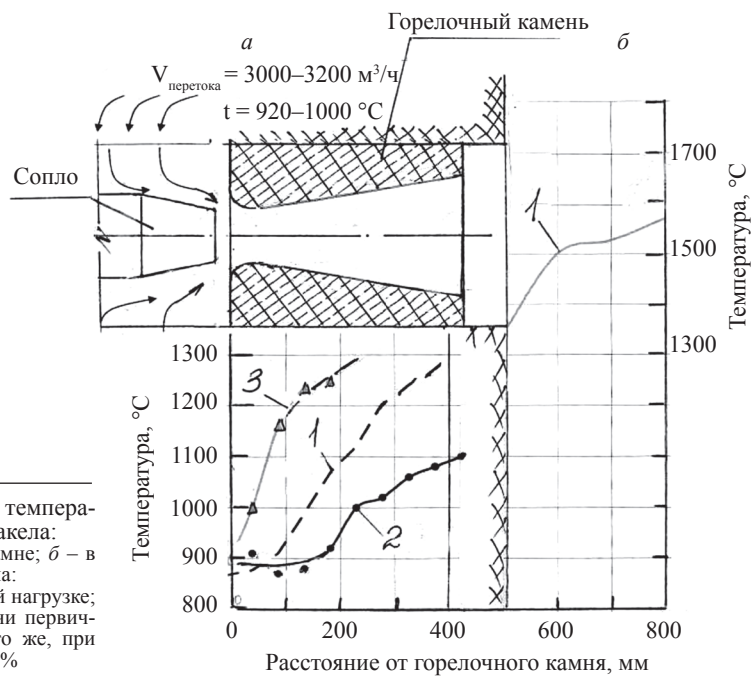


Рис. 3. Изменение температуры по оси факела:
а – в горелочном камне; б – в
объеме горна:
1 – при номинальной нагрузке;
2 – то же, без подачи первич-
ного воздуха; 3 – то же, при
нагрузке 50 %

Анализ проб обожженных окатышей по высоте слоя показал, что качественные характеристики окатышей вполне соответствовали техническим условиям (табл. 1).

Таблица 1

Качество обожженных окатышей

Показатель качества по высоте слоя	+5 мм, %	–0,5 мм, %	σ, кг/ок	FeO, %
Верх	96,3	2,0	269	3,1
Середина	96,5	1,8	250	3,3
Низ	95,0	2,2	240	2,8

Таким образом, проведенные испытания работы эжекционных горелок на обжиговой машине № 1 показали:

- надежную работу горелок при коэффициентах расхода воздуха от 0,2 до 1,3;
- улучшение равномерности распределения температурного поля по ширине обжиговых тележек и полное сгорание топлива;
- широкие пределы регулирования расхода природного газа на горелку в диапазоне 50–270 м³/ч при сохранении устойчивого горения.

Горелки позволяют сформировать жесткий факел и улучшить управляемость температурным режимом обжига.

Положительный опыт испытания двух горелок на машине № 1 дал возможность перейти к испытанию всей системы отопления горна, оборудованной эжекционными горелками.

Такая система отопления с эжекционными горелками, разработанной ОАО «ВНИИМТ», смонтирована на обжиговой машине № 2. При такой системе отопления в рабочем объеме горна над каждой газовой камерой формируются четыре факела – по два с каждой стороны (верхний и нижний). Это позволяет отдельно регулировать расходы, а при необходимости отключать либо верхние, либо нижние сопла горелок. Каждая горелка оборудована одним отсечным клапаном и регулирующей заслонкой, двумя датчиками контроля пламени (для каждого сопла). Предусматривался ручной розжиг горелок с помощью переносного запальника. При срабатывании любого из двух датчиков контроля пламени прекращается подача газа сразу на два горелочных сопла.

Проектом предусмотрена установка дополнительных вентиляторов подачи холодного атмосферного воздуха – первичного воздуха горения, используемого также для охлаждения корпуса горелок. Для регулирования расхода воздуха на каждом сопле горелки установлены индивидуальные воздушные заслонки с электроприводом.

Система АСУ отопления горна обеспечивала через контуры «газ-газ» выравнивание расходов справа и слева, а также поддержание соотношения расходов газа между верхними и нижними горелками с каждой стороны. Ведущими являлись нижние газоздушные смесители горелок, установленные с правой стороны машины. Расход газа на ведущее сопло горелки (смеситель) определялся контуром регулирования температуры. Расход газа, установившийся на нижнем смесителе горелки, являлся заданием для контура расхода газа ведомой горелки.

Реконструированная система отопления показала себя работоспособной, но сложной в управлении и регулировании теплового режима. Это вызвано тем, что факелы, сформированные верхним и нижним рядами сопел при работе на одинаковых нагрузках, по-разному деформируются потоком переточного воздуха, так как в одном случае формируется встречный факел, а в другом – спутный.

Кроме того, как показали дополнительные исследования, скоростное поле в потоке переточного воздуха неравномерное как по высоте горна, так и по его длине. Поэтому наблюдались такие явления, при которых изменение тепловой нагрузки горелок, установленных, например, над 12 вакуум-камерой, приводило к изменению уровня температур над слоем в районе 10 вакуум-камеры.

Дальнейшие работы по совершенствованию системы отопления выполнялись в объеме реконструкции горна обжиговой машины № 3. На горелках этой машины были реализованы следующие мероприятия:

- Газовоздушные сопла верхнего и нижнего ярусов каждой горелки были установлены по нормали к боковой стенке горна. Это создает для всех горелок одной зоны вакуум-камеры приближенно одинаковые условия работы.

- В тракт истечения первичного воздуха из сопла горелки встроены завихрители. Это вызвано необходимостью интенсификации смешения газа и первичного воздуха с целью сокращения длины встречно развивающихся факелов для исключения их взаимного удара и повышения температур на оси горна.

Предварительные испытания горелок при вводе системы отопления машины № 3 в эксплуатацию позволили сделать следующие выводы:

1. Замена и последующая модернизация горелок привела к увеличению расхода высокотемпературного переточного воздуха в 1,25–1,3 раза, что позволило снизить удельный расход природного газа на 2,5–3,0 м³/т окатышей.

2. Предпочтительным режимом работы является режим максимального использования нижних сопел горелок, факелы которых подвержены наименьшему сносу высокотемпературным переточным воздухом в голову обжиговой машины.

3. Верхние горелки должны быть более «дальнобойными», чтобы их продукты горения не участвовали в процессе горения газа, вытекающего из нижних сопел.

4. Поток газовой смеси, сформированной завихрителем, на выходе из сопла горелки имеет вихревую структуру с углом раскрытия, который зависит от угла поворота лопаток и величины заглубления завихрителя в сопло. Поэтому при работе некоторых горелок наблюдались такие явления, при которых выходящий из сопла вихревой поток, имея большой угол раскрытия, ударяется в стенки входного отверстия горелочного камня. Тем самым не только уменьшается подсос вторичного воздуха в вытекающую струю, но и создается подпор при входе в горелочный камень и выбивание газов через патрубки горелки. Работы по выбору оптимальной конструкции смесителя для первичной газовой смеси планируется продолжить.

Список использованных источников

1. Лошкарев А.Н., Винтовкин А.А., Деньгуб В.В. Моделирование аэродинамики горна обжиговой машины ОК-228 // Теория и практика нагревательных печей в XXI веке: Труды Всероссийской научно-практической конференции (25–26 мая 2010 г.). – Екатеринбург: УрФУ, 2010. С. 143–151.